

УДК 556.551

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД САПРОПЕЛЕВЫХ ОЗЕР ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

П.В. Бернатонис, Ю.Г. Копылова, В.К. Бернатонис, В.С. Архипов, В.Г. Меркулов

Томский политехнический университет

E-mail: bpv@tpu.ru

Исследован химический состав вод сапропелевых озер южной части Томской области, выявлены закономерности поведения химических элементов в ультрапресных и пресных водах восстановительной геохимической обстановки, что наиболее отчетливо проявляется по характеру распределения в них железа.

Ключевые слова:

Сапропель, химический состав вод, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия вод, характер геохимической среды.

Key words:

Sapropel, chemical water composition, alkali acid and oxidation-reduction water conditions, geochemical environment behavior.

Введение

Первичная биопродуктивность озер зависит от соотношения общей биомассы и ежегодной продукции органического вещества в таежных ландшафтах и определяется характером геохимических процессов формирования макро- и микрокомпонентного состава вод [1]. Такие элементы как С, S, N, P и ряд других определяют характер биохимических процессов в водоемах. Лимитирующим фактором фотосинтеза в озерных биоценозах является концентрация фосфора. Каталитический эффект на фотосинтез оказывают Cu, Co, Fe, Mo, V, Mn, Zn и некоторые другие элементы [2]. Электролитический баланс тканей поддерживают Na, K, Ca, Mg и Cl. Кремний и кальций используются растениями и животными на построение минерального скелета [3]. Токсичные элементы (Hg, Pb, Sb, Cd, As, Tl и др.) подавляют биологическую активность в водоемах. Химические элементы, усваиваемые зоо- и фитопланктоном, поступают в пищевые цепи и, в конечном счете, накапливаются в сапропелях, определяя, наряду с другими параметрами, их потребительские свойства.

Методика исследований

Исследования химического состава вод выполнены на 20 озерах Томской области (табл. 1), расположенных в поймах рек Оби, Томи, Чулыма, Кии, Шегарки и Чети. На каждом озере потенциометрическим методом определяли pH, Eh и электропроводность вод. Пробы отбирали из приповерхностных слоев водоемов в специально подготовленную полиэтиленовую или стеклянную посуду. При отборе проб применяли методы консервирования быстро меняющихся компонентов воды: для определения окисляемости перманганатной добавляли 4 мл H_2SO_4 конц. на 200 мл H_2O ; натрия, калия, лития и стронция — 1 мл HNO_3 конц. на 100 мл H_2O ; железа общего — 1 мл HNO_3 конц. на 100 мл H_2O ; алюминия — 1 мл HCl конц. на 200 мл H_2O ; аммония, нитритов, нитратов и полифосфатов — 2 мл хлороформа на 500 мл H_2O ; свинца, меди, цинка и кадмия — 1 мл HNO_3 конц.

на 200 мл H_2O ; ртути — 0,5 мл HNO_3 конц. и 0,25 мл 4 % $K_2Cr_2O_7$ на 50 мл H_2O ; ХПК — 0,1 мл H_2SO_4 конц. на 50 мл H_2O .

Анализы вод выполнены в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета В.М. Марулевой, А.А. Хвашевской, А.Н. Ефимовой, Р.Ф. Зарубиной, Н.И. Шердаковой и Н.А. Трифионовой. Определение компонентов вод осуществляли методами титриметрии (CO_2 , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , ХПК, $C_{орг.}$, перманганатная окисляемость, общая жесткость), фотокolorиметрии (Fe, Al, NH_4^+ , PO_4^{3-} , Si, NO_2^- , NO_3^- , цветность), пламенной атомной абсорбции (Na, K, Li, Sr), потенциометрии (I, Br, F), беспламенной атомно-абсорбционной спектроскопии по способу «холодного пара» (Hg), инверсионной вольтамперометрии (Pb, Cu, Zn, Cd), атомно-эмиссионной спектроскопии водных концентратов на гидроокиси алюминия — метод «ТПИ» (Ag, Ni, As, Sn, Mo, Ti, V, Mn), инструментального нейтронно-активационного анализа сухих остатков вод (Sm, Ce, U, Th, Cr, Yb, Ba, Sr, Cs, Rb, Sc, Ta, Co, Eu, La, Sb) в НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете (исполнитель В.Г. Меркулов).

Химический состав озерных вод

Воды озер характеризуются преимущественно слабощелочными и щелочными условиями геохимической среды (pH 6,88...8,46). Лишь в озерах АСС-48, АСС-65, АСС-14, КОС-16, ТОС-3 и КРС-36 отмечается нейтральная реакция среды. Кислотно-щелочные свойства воды определяют преобладание гидрокарбонат-иона среди всех составляющих углерода. Содержание свободной углекислоты в водах колеблется от 3,52 до 7,04 мг/л. С увеличением pH связано появление в водах карбонат-иона.

Минерализация вод изменяется от 72 до 533 мг/л, составляя в среднем 251 мг/л. Электропроводность вод варьирует от 0,079 до 0,512 мСм/см. По химическому составу воды озер гидрокарбонатные кальцие-

Таблица 1. Характеристика исследованных озер

№№ п.п.	Название водоема	Шифр озера	Географические координаты		Площадь водоема, га
Асиновский район					
1	Без названия	АСС-14	57°15'41.3// с.ш.	85°55'23.7// в.д.	4,8
2	Озеро Чертаны (местное)	АСС-15	57°93'31.9// с.ш.	85°41'20.7// в.д.	6,0
3	Озеро Тургайское	АСС-26	57°21'31.8// с.ш.	85°52'44.7// в.д.	10,0
4	Озеро Большое Колесниково	АСС-48	57°19'04.9// с.ш.	85°54'33.4// в.д.	4,0
5	Озеро Каштык	АСС-65	57°01'46.5// с.ш.	86°11'16.5// в.д.	52,0
Томский район					
6	Озеро Боярское	ТОС-1	56°27'05.0// с.ш.	84°55'05.7// в.д.	6,8
7	Озеро Песчаное	ТОС-3	56°26'22.3// с.ш.	84°55'00.5// в.д.	2,5
8	Озеро Таяново	ТОС-9	56°28'02.0// с.ш.	84°53'45.1// в.д.	16,5
Кожевниковский район					
9	Без названия	КОС-1	56°25'15.8// с.ш.	83°53'59.6// в.д.	6,0
10	Пруд на р. Кумлова	КОС-16	56°03'11.4// с.ш.	83°44'14.0// в.д.	80,0
11	Озеро Линево	КОС-26	56°44'56.9// с.ш.	83°38'24.12// в.д.	30,0
Зырянский район					
12	Старица реки Четь	ЗЫС-13	56°52'48.5// с.ш.	87°50'16.1// в.д.	14,0
13	Без названия	ЗЫС-25	56°37'33.9// с.ш.	86°52'06.5// в.д.	8,0
14	Озеро Марчиха	ЗЫС-40	56°49'18.2// с.ш.	87°41'06.5// в.д.	146,0
Кривошеинский район					
15	Без названия	КРС-23	57°08'15.2// с.ш.	83°58'16.0// в.д.	2,40
16	Без названия	КРС-36	57°12'08.9// с.ш.	84°18'15.4// в.д.	6,0
17	Без названия	КРС-42	57°10'50.7// с.ш.	84°21'05.5// в.д.	40,0
Шегарский район					
18	Озеро Жарково	ШЕС-3	56°40'40.0// с.ш.	84°15'40.2// в.д.	80,0
19	Без названия	ШЕС-18	56°30'17.6// с.ш.	84°00'36.7// в.д.	12,0
20	Без названия	ШЕС-19	56°29'55.9// с.ш.	84°00'00.9// в.д.	2,5

во-магниевого с присутствием сульфат-иона в количествах до 17 экв. % и хлор-иона — до 11 экв. % (табл. 2). Увеличение концентраций хлора до 11,36...21,3 мг/л обязано, вероятнее всего, процессам загрязнения вод (озера ШЕС-3 и ЗЫС-13).

С ростом минерализации вод наблюдается увеличение рН и содержания гидрокарбонат-иона, кремния, кальция, магния и натрия. Общая жесткость вод варьирует от 0,4 до 6,2 мг-экв/л. Для калия, как биофильного элемента, характерно снижение концентраций с ростом минерализации озерных вод. Алюминий обнаружен в маломинерализованных водах с рН около 7 и в водах с минерализацией более 300 мг/л при рН 7,4...8,6 в концентрациях от 0,060 до 0,135 мг/л. В этих водах его содержания превышают предельно-допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов. Концентрации кремния в водах озер увеличиваются с ростом их минерализации и изменяются от 0,189 до 9,72 мг/л.

Геохимическая среда в водах озер характеризуется значениями Eh от –82 до +237 мВ. Повышенные величины рН, значительные содержания различных органических веществ и наличие сульфат-редуцирующих бактерий, приводящих к появлению восстановительной обстановки, создают довольно специфические условия для миграции микрокомпонентов в озерных водах. В этих условиях [4–6] наиболее подвижны элементы, способные к

комплексобразованию с органическими соединениями (гуминовыми и фульвовыми кислотами, аминокислотами и др.). Металлоорганические комплексы сравнительно устойчивы и выпадают в осадок лишь в тех случаях, когда наблюдается смена геохимической обстановки, в том числе и при смешении озерных вод с подземными или поверхностными водами.

Геохимическая обстановка в озерах наиболее отчетливо влияет на поведение в них железа. В целом его концентрации изменяются от 0,17 до 4,35 мг/л. Значения Eh при этом увеличиваются от –82 до +86 мВ. При отрицательных значениях Eh железо обычно присутствует в водах в меньших количествах (до одного мг/л). При положительных значениях Eh, около нейтральной среде и повышенных содержаниях органических веществ создаются благоприятные условия для нахождения железа в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л. Вместе с тем, в условиях окислительной среды при самом высоком значении Eh в слабощелочных водах с относительно малым количеством органических веществ железо не обнаружено (в озере АСС-26).

Приведенные данные свидетельствуют о существенном влиянии органических веществ на миграцию железа. Они определяют характер геохимической обстановки и создают условия для его накопления в водах. Поэтому концентрации железа

Таблица 2. Химический состав вод сапропелевых озер южной части Томской области

Шифр озера	pH	Eh, мВ	Σ, мСм/см	C _{орг.} , мг/л	Содержание компонентов, мг/л														M, мг/л	Химический тип воды (по А.В. Щукареву)
					CO ₂ своб.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	I	Br	F	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe _{общ.}	Si	Al		
ТОС-1	7,76	–	0,090	3,3	3,52	49,0	5,45	5,7	0,014	0,04	0,150	2,2	1,4	8	<0,10	0,29	0,189	<0,02	72	HCO ₃ 71/Ca75
ЗЫС-25	7,80	160	0,079	27,3	3,52	61,0	2,00	5,0	0,011	0,06	0,099	0,6	2,9	8	3,66	0,51	0,567	<0,02	84	HCO ₃ 77/Ca51 Mg38
АСС-48	7,20	141	0,095	10,1	3,52	6,0	0,75	11,0	0,010	0,01	0,062	1,0	1,2	10	1,22	2,46	0,670	<0,02	90	HCO ₃ 74/Ca75
АСС-15	8,05	191	0,127	8,8	3,52	73,2	0,70	9,5	0,018	0,02	0,079	2,7	0,8	16	4,88	2,54	5,130	<0,02	111	HCO ₃ 77/Ca60 Mg30
АСС-65	6,88	171	0,121	6,0	3,52	97,6	0,86	9,7	0,010	<0,01	0,099	2,5	1,5	10	3,66	1,56	1,620	<0,02	128	HCO ₃ 83/Ca53 Mg32
АСС-14	7,06	86	0,141	18,3	7,04	97,6	1,50	12,5	0,014	0,02	0,093	2,2	2,6	20	7,32	4,35	1,890	0,060	149	HCO ₃ 81/Ca57 Mg34
КОС-16	7,10	96	0,193	10,8	3,52	122,0	1,25	4,5	<0,010	<0,01	0,198	1,1	4,4	28	1,22	0,67	1,890	0,135	164	HCO ₃ 91/Ca84
ТОС-3	7,27	–	0,190	14,2	3,52	122,0	2,65	12,5	0,017	0,02	0,198	4,6	2,5	16	3,66	0,51	2,090	<0,02	166	HCO ₃ 81/Ca59 Mg22
АСС-26	8,21	237	0,220	4,1	<3,50	122,0	0,70	2,5	0,012	0,02	0,144	4,7	1,0	22	9,76	<0,10	6,350	<0,02	169	HCO ₃ 84/Ca51 Mg38
КРС-36	7,07	–82	0,240	16,5	3,52	158,6	2,00	10,5	0,014	<0,01	0,150	4,2	2,7	32	7,32	0,17	4,050	<0,02	219	HCO ₃ 87/Ca65 Mg25
КРС-42	8,10	32	0,264	16,1	<3,50	158,6	3,40	10,5	0,018	0,05	0,111	4,5	8,9	34	6,10	2,54	1,080	<0,02	233	HCO ₃ 83/Ca65
ТОС-9	7,83	–	0,265	12,7	3,52	183,0	3,35	13,5	0,013	0,05	0,322	5,4	0,6	24	3,66	2,03	5,670	<0,02	237	HCO ₃ 86/Ca68
КОС-26	8,46	119	0,227	15,0	<3,50	195,2	2,29	14,0	0,018	0,25	0,218	5,6	2,9	44	8,54	0,23	<0,500	<0,02	280	HCO ₃ 82/Ca69 Mg22
ШЕС-19	7,40	66	0,340	16,1	3,52	231,8	0,85	6,0	0,012	0,02	0,315	7,2	2,2	44	14,64	0,39	0,490	0,113	309	HCO ₃ 93/Ca58 Mg30
ЗЫС-40	8,46	119	0,392	37,5	<3,50	268,4	0,80	4,4	0,018	0,11	0,322	6,2	1,2	52	15,86	3,12	8,100	0,105	365	HCO ₃ 88/Ca62 Mg31
ШЕС-3	7,65	169	0,468	8,4	<3,50	268,4	11,36	10,0	0,015	0,15	0,150	9,1	2,5	66	13,42	0,32	9,720	<0,02	388	HCO ₃ 89/Ca68 Mg23
ЗЫС-13	7,76	190	0,356	7,5	<3,50	268,4	21,30	10,0	0,023	0,24	0,023	4,7	1,2	72	8,54	1,27	5,400	<0,02	391	HCO ₃ 83/Ca80
ШЕС-18	8,03	–61	0,328	11,2	<3,50	305,0	0,60	2,0	0,014	0,07	0,028	6,7	1,0	70	14,64	<0,10	8,100	<0,02	413	HCO ₃ 90/Ca70 Mg24
КОС-1	7,40	–43	0,512	4,5	7,04	439,2	1,50	4,0	0,013	0,03	0,150	7,9	1,4	56	12,20	0,87	7,560	<0,02	524	HCO ₃ 97/Ca67 Mg24
КРС-23	7,98	35	0,460	8,2	<3,50	402,6	<0,50	2,0	0,013	0,15	0,396	8,2	1,4	92	19,52	0,31	7,290	<0,02	533	HCO ₃ 97/Ca70 Mg24

Условные обозначения: Σ – электропроводность; M – минерализация.

в озерных водах повсеместно превышают ПДК для целей рыбохозяйственной деятельности и питьевого водоснабжения.

В водах сапропелевых озер обнаружен большой комплекс микрокомпонентов. Их концентрации в водах изменяются (мкг/л) в широких пределах: Li от 1,0 до 11,0; Sr от 80,0 до 1150,0; I от <10,0 до 23,0; Br от <10,0 до 250,0; F от 23,0 до 396,0; Zn от 4,0 до 40,0; Ni от <0,6 до 8,5; Ti от 4,2 до 22,5; Mn от 4,2 до 73,0; Cr от <0,63 до 18,67 и Ba от 10,7 до 303,9. Содержания других микрокомпонентов, в том числе биологически активных (Cu, Co, Mo, V и др.) и токсичных (Hg, Pb, Sb, Cd, As и др.), низкие. Сравнительный анализ показывает, что большинство химических элементов присутствует в водах на уровне кларковых значений для речных вод (Sc, Mo, V, Ni, Ag, Cd, Cs, Ce, Sm, Pb). В концентрациях ниже таковых находятся Co, Cu, As, Rb,

Sb, Th, U. Превышают кларковые значения для речных вод содержания J, Sr, Ti, Ba, La.

Выявлены тенденции увеличения содержаний Li, Sc, Br, F, La и, особенно, Ba и Sr с ростом минерализации озерных вод. По содержанию микрокомпонентов создаются напряженные экологические условия для рыбозаведения, поскольку в большинстве озер отмечено превышение предельно-допустимых концентраций Li, Mn, Hg, Cr, Zn, Cu, Mo и V.

Выводы

1. Геохимическая обстановка в водах сапропелевых озер юга Томской области характеризуется значениями pH от 6,88 до 8,46 и Eh от –82 до +237 мВ. Реакция среды обычно слабощелочная и щелочная, иногда нейтральная с окислительными условиями.

2. Повышенное содержание органических веществ и наличие сульфатредуцирующих бактерий приводят в редких случаях к появлению восстановительной обстановки, обуславливающей миграцию большинства химических элементов в водах в виде металлоорганических комплексных соединений.
3. По химическому составу воды озер гидрокарбонатные кальциево-магниевые с наличием сульфат- и хлор-ионов.
4. Минерализация вод колеблется от 72 до 533 мг/л. С ее ростом происходит повышение содержаний HCO_3^- , Si, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Li, Sc, Br, F, La, Ba и Sr.
5. По содержанию железа и некоторых микроэлементов (Li, Mn, Hg, Cr, Zn, Cu, Mo и V) в водах большинства озер создаются неблагоприятные условия для рыбозаведения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
2. Лепская Е.В. Влияние пепла вулкана Алаид на фитопланктон озера Курильского (Южная Камчатка) // Исследования биологии и динамики численности промысловых рыб Камчатского шельфа. – Петропавловск-Камчатский: Мин-во рыбного хозяйства, 1993. – Вып. 2. – С. 21–24.
3. Романкевич Е.А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 292–306.
4. Бернатонис В.К. Роль органического вещества в процессах гипергенной миграции золота // Гидрогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых / под ред. Е.В. Пиннекера. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 122–124.
5. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
6. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

Поступила 18.03.2011 г.